昆 虫 学 报 *Acta Entomologica Sinica*, December 2014, 57(12): 1408 – 1417 ISSN 0454-6296

猫眼尺蠖在三种女贞属植物上的实验种群两性生命表

胡良雄*，何正盛，张小谷

（九江学院药学与生命科学学院，江西九江 332000）

摘要：【目的】猫眼尺蠖 *Problepsis superans* 是一种鳞翅目尺蛾科食叶害虫，有报道称它只危害园林植物小叶女贞 *Ligustrum quihoui* Carr.，关于其他寄主及其寄主对其生命特征的影响很少研究。开展本研究有助于了解小叶女贞及其可能寄主金叶女贞 *Ligustrum* × *vicaryi* Hort. 和女贞 *Ligustrum lucidum* Ait. 对猫眼尺蠖生长发育和繁殖的影响。【方法】在室内 25 ± 1℃，相对湿度为 75% ± 5%，光周期为 16L∶8D 条件下，组建了猫眼尺蠖在这 3 种植物上的实验种群年龄-龄期两性生命表。【结果】金叶女贞、小叶女贞和女贞对猫眼尺蠖幼虫历期、产卵量有明显影响，对卵期、蛹期、产卵前期(指雌虫羽化至开始产卵)、雄虫存活时间等无显著影响。猫眼尺蠖取食金叶女贞幼虫历期(21.33 d)显著短于取食小叶女贞(23.46 d)和女贞(27.28 d)，产卵量(529.1 粒/雌)显著高于在小叶女贞(442.5 粒/雌)和女贞(339.7 粒/雌)上。猫眼尺蠖在金叶女贞和小叶女贞上的内禀增长率(r)、周限增长率(λ)、净增殖率(R_0)无显著差异，但两者都显著大于在女贞上。猫眼尺蠖在 3 种植物上的平均世代周期(T)差异显著，它们从小到大为：金叶女贞、小叶女贞、女贞，在 3 种植物上总繁殖率(*GRR*)没有显著差异。【结论】金叶女贞和小叶女贞相比女贞提供了猫眼尺蠖较好质量的食物，金叶女贞和女贞具备作为猫眼尺蠖的寄主或临时寄主的可能。

关键词：猫眼尺蠖；寄主植物；实验种群；生长发育；繁殖；两性生命表；女贞属

中图分类号：Q968 **文献标识码：**A **文章编号：**0454-6296(2014)12-1408-10

Age-stage two-sex life tables of the experimental population of *Problepsis superans* (Lepidoptera: Geometridae) on three *Ligustrum* species

HU Liang-Xiong*, HE Zheng-Sheng, ZHANG Xiao-Gu (College of Pharmacy and Life Science, Jiujiang University, Jiujiang, Jiangxi 332000, China)

Abstract:【Aim】*Problepsis superans* is a pest, which feeds the leaves of the garden plant *Ligustrum quihoui* Carr. No research has been done on other host plants and their effects on life history of *P. superans*. The study can help understand the influence of *L. quihoui* and two potential host plants, *Ligustrum* × *vicaryi* Hort. and *Ligustrum lucidum* Ait., on the development and reproduction of *P. superans*.【Methods】Age-stage two-sex life tables of the experimental population of *P. superans* on three ligustrum species, *i. e.*, *L.* × *vicary*, *L. quihoui*, and *L. lucidum* were constructed under the conditions of 25 ± 1℃, 75% ± 5% R. H. and 16L∶8D photoperiod.【Results】The results showed that there were significant differences in larval longevity and fecundity of *P. superans* on the three ligustrum species, however, no significant differences were found in egg and pupal duration, adult preoviposition period (APOP), and male survival time. The total larval duration of *P. superans* on *L.* × *vicaryi* (21.33 d) was significantly shorter than that on *L. quihoui* (23.46 d) and *L. lucidum* (27.28 d); however, the fecundity on *L.* × *vicaryi* (529.1 eggs/female) was significantly higher than that on *L. quihoui* (442.5 eggs/female) and *L. lucidum* (339.7 eggs/female). The intrinsic rate of increase (r), the finite rate of increase (λ) and the net reproductive rate (R_0) of *P. superans* on *L.* × *vicaryi* and *L. quihoui* were significantly higher than that on *L. lucidum*; however, there was no significant difference between on *L.* × *vicaryi* and on *L. quihou*. The mean generation time (T) of *P. superans* on the three species differed significantly and ranked as *L.* × *vicaryi* < *L. quihoui* < *L. lucidum*. However, there were no significant differences in the gross reproduction rates (*GRR*) of *P. superans* on the three species.【Conclusion】*L. vicaryi* and *L. quihoui* provide better quality food for *P. superans* than *L. lucidum*, and *L. vicaryi* and *L. lucidum* may serve as hosts or temporary hosts of *P. superans*.

基金项目：九江学院博士启动基金(8634209)；九江学院校级项目(8899809)

作者简介：胡良雄，男，1973 年生，湖南邵阳人，博士，讲师，研究方向为昆虫生态生理学，E-mail：hulx2013@163.com

* 通讯作者 Corresponding author, E-mail：hulx2013@163.com

收稿日期 Received：2014-06-29；接受日期 Accepted：2014-10-19

Key words: *Problepsis superans*; host plants; experimental population; growth and development; reproduction; age-stage two-sex life table; *Ligustrum*

猫眼尺蠖 *Problepsis superans*（Butler，1885），又名猫眼尺蛾，属鳞翅目（Lepidoptera），尺蛾科（Geometridae），姬尺蛾亚科（Sterrhinae），眼尺蛾属 *Problepsis*，分布于日本、朝鲜、俄罗斯南部以及我国陕西、甘肃、辽宁、江西、湖南、台湾等省和西藏自治区（方育卿，2003；吴龙根等，2011）。方育卿（2003）对猫眼尺蛾的分类特征进行了详细描述。吴龙根等（2011）、胡德具和安学君（2012）对猫眼尺蠖的形态特征及生物学特性进行了研究，报道猫眼尺蠖仅危害小叶女贞，未见其他寄主。猫眼尺蠖取食小叶女贞叶片和嫩茎，严重时树皮也被啃食，只剩光秃的树干，降低绿化观赏价值。其他关于猫眼尺蠖的研究很少，也未见猫眼尺蠖取食其他植物的研究。除小叶女贞外，同属的其他种植物是否适合猫眼尺蠖取食和繁殖？本文选取了常用于园林绿化的木犀科女贞属 3 种植物小叶女贞 *Ligustrum quihoui* Carr.，金叶女贞 *Ligustrum* × *vicaryi* Hort. 和女贞 *Ligustrum lucidum* Ait. 来探讨它们对猫眼尺蠖生命表参数的影响。生命表是研究和分析害虫种群动态的一种重要方法，一直被广泛应用（庞雄飞等，1992）。Lewis（1942）、Leslie（1945）和 Birch（1948）提出的传统生命表没有考虑到昆虫个体间普遍存在的发育速率差异而产生的龄期重叠现象，忽略了雄性个体的作用，从而影响到生命表结果的准确性（吴坤君等，1994）。Chi 和 Liu（1985）及 Chi（1988）提出的包含个体发育进度差异和雄性成虫的年龄-龄期两性生命表是对传统生命表方法的重要改进和补充，已在昆虫生态研究中得到大量应用（Chi and Su，2006；Hu *et al.*，2010；朱秀娟等，2011；Jha *et al.*，2012；殷万东等，2012；赵静等，2012；Huang and Chi，2013；殷万东等，2013；张丽等，2013；Zhou *et al.*，2013；Naseri *et al.*，2014；王海鸿等，2014；Wang *et al.*，2014）。本文首次组建了猫眼尺蠖在金叶女贞、小叶女贞和女贞上的实验种群两性生命表，从生物学的角度分析上述 3 种女贞属植物对猫眼尺蠖生长发育及繁殖的影响，评价金叶女贞和女贞是否为猫眼尺蠖的适宜寄主。

1　材料和方法

1.1　供试材料

供试植物为木犀科女贞属 3 种植物，金叶女贞、小叶女贞、女贞。它们均为九江学院校内绿化植物，树龄在 3 年以上，实验期间均未喷杀虫剂。2013 年 4 月在校内绿化植物小叶女贞上采集到猫眼尺蠖 1 – 2 龄幼虫和成虫，带回实验室饲养，分别用 3 种植物饲养 1 代。第 2 代成虫产卵用于生命表实验。

1.2　实验种群的饲养和观察

第 2 代成虫在人工气候箱内（LRH-300-GSI，韶关市泰宏医疗器械有限公司）饲养，实验条件为 25 ± 1℃，相对湿度为 75% ± 5%，光周期为 16L∶8D。成虫转移到容积为 1 L 的一次性透明塑料方形饭盒内，同时放入浸润 10% 蜂蜜水的医用脱脂棉补充食物，一个盒内放入一种女贞属植物嫩枝条作为产卵场所，产卵 24 h 后移走成虫，每种植物叶片上保留 65 粒卵开始生命表实验。每天定时检查一次，查看卵孵化情况，孵出的幼虫用毛笔转移到直径 9 cm 的塑料培养皿内单头饲养，塑料皿内放入叶柄端包扎湿棉花的植物嫩叶片，每两天更换新鲜嫩叶片。成虫羽化后，雌雄配对，转入 1 L 透明塑料饭盒内饲养产卵，每盒放 1 对雌雄成虫，同时附有浸润 10% 蜂蜜水的脱脂棉团作为食物来源，每 2 d 更换一次棉团，每天计录产卵量和雌雄虫存活情况直至所有成虫死亡。基于生命表实验中可能出现的雄虫数量少于雌虫情况，在生命表实验开始时，每种植物上多取 10 粒卵，同样条件下孵化，幼虫孵出后同样方法饲养，成虫羽化后用于补充生命表实验中可能缺少的雄虫。本文中，猫眼尺蠖从卵到成虫分为 8 个发育龄期：卵期，幼虫 1 – 5 龄，蛹期，雌雄成虫期。

1.3　两性生命表制作和数据处理

根据 Chi 和 Liu（1985）及 Chi（1988）的方法，组建在金叶女贞、小叶女贞、女贞上的猫眼尺蠖实验种群两性生命表。数据的处理及分析采用年龄-龄期两性生命表分析软件（age-stage，two-sex life table analysis）（Chi，2014）。其中，l_x 指从卵发育达到年龄 x 的存活率，$l_x = \sum_{j=1}^{k} S_{xj}$（$k$ 为猫眼尺蠖龄期），S_{xj} 指个体从卵发育到年龄 x 龄期 j 的概率；m_x 指整个种群在年龄 x 平均产卵数，计算为 $m_x = \frac{\sum_{j=1}^{k} s_{xj} f_{xj}}{\sum_{j=1}^{k} s_{xj}}$；$f_{xj}$ 指猫眼尺蠖成虫在年龄 x 龄期 j 的产

卵数，由于只有雌虫产卵，所以这里只有 f_{x8}（雌虫处于第 8 个龄期），指雌虫（不包括未发育至成虫死亡的个体）在年龄 x 的平均产卵数。由 Euler-Lotka 公式 $\sum_{x=0}^{\infty} e^{-r(x+1)} l_x m_x = 1$（Goodman，1982），按照二分迭代法估算内禀增长率（r）。净增殖率（R_0）指一个个体一生中所产的总后代数，计算为 $R_0 = \sum_{x=0}^{\infty} l_x m_x$。周限增长率 λ 为 e^{λ}。世代平均周期（T）指为当一个种群达到稳定年龄-龄期分布和稳定增长速率（即 r 和 λ）时，增加 R_0 时所需的时间，即 $e^{rT} = R_0$ 或者 $\lambda^T = R_0$，计算为 $T = (\ln R_0)/r$。总繁殖率（GRR）计算为 $GRR = \sum m_x$。产卵前期（adult preoviposition period，APOP）指雌虫羽化至开始产卵。使用 Bootstrap（Efron and Tibshirani，1993）（其中 Bootstrap times 为 10 000 次）方法推断内禀增长率（r）、净增殖率（R_0）、世代平均周期（T）、周限增长率（λ）等种群参数的平均值和标准误，采用 Tukey-Kramer（Dunnett，1980）多重比较法检测猫眼尺蠖取食 3 种植物的种群参数的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 不同植物对猫眼尺蠖发育历期的影响

在金叶女贞、小叶女贞、女贞上猫眼尺蠖发育历期见表 1。结果显示，在女贞上的卵期略长于在金叶女贞和小叶女贞上的卵期，但在金叶女贞、小叶女贞、女贞上猫眼尺蠖卵期差异不显著（$F = 2.335$；$df = 2, 186$；$P = 0.1$）。取食金叶女贞、小叶女贞、女贞的猫眼尺蠖幼虫期差异显著（$F = 179.984$；$df = 2, 167$；$P < 0.01$）。取食金叶女贞的猫眼尺蠖幼虫期最短，为 21.33 d，其次是取食小叶女贞（23.46 d），取食女贞的幼虫期最长，为 27.28 d。取食金叶女贞和小叶女贞的 3 龄和 5 龄幼虫发育历期无显著差异，但均显著短于取食女贞的同龄幼虫，取食这 3 种植物的猫眼尺蠖 1，2 和 4 龄幼虫发育历期显著差异，均是金叶女贞 < 小叶女贞 < 女贞。取食金叶女贞、小叶女贞、女贞的猫眼尺蠖蛹历期无显著差异（$F = 2.760$；$df = 2, 161$；$P = 0.066$）。

表 1 在金叶女贞、小叶女贞和女贞上猫眼尺蠖卵、幼虫和蛹发育历期

Table 1 Developmental duration of egg, larval, and pupal stages of *Problepsis superans* reared on *Ligustrum* × *vicaryi*, *L. quihoui* and *L. lucidum*

龄期 Developmental stage	发育历期 Developmental duration (d)		
	金叶女贞 *L.* × *vicaryi*	小叶女贞 *L. quihoui*	女贞 *L. lucidum*
卵 Egg	6.48 ± 0.07 a (63)	6.58 ± 0.06 a (63)	6.63 ± 0.06 a (63)
1 龄幼虫 1st instar larva	4.60 ± 0.06 a (61)	4.95 ± 0.06 b (60)	5.95 ± 0.11 c (60)
2 龄幼虫 2nd instar larva	2.63 ± 0.08 a (60)	3.02 ± 0.08 b (59)	4.03 ± 0.11 c (58)
3 龄幼虫 3rd instar larva	3.03 ± 0.05 a (60)	3.17 ± 0.09 a (58)	3.56 ± 0.09 b (57)
4 龄幼虫 4th instar larva	3.62 ± 0.07 a (60)	4.39 ± 0.12 b (57)	4.93 ± 0.10 c (56)
5 龄幼虫 5th instar larva	7.58 ± 0.15 a (59)	7.89 ± 0.11 a (56)	8.89 ± 0.14 b (54)
幼虫期 Larva	21.33 ± 0.22 a (59)	23.46 ± 0.20 b (56)	27.28 ± 0.26 c (54)
蛹 Pupa	9.16 ± 0.05 a (58)	9.29 ± 0.09 a (55)	9.39 ± 0.07 a (51)

表中数据是平均值 ± 标准误，同一行数据后不同小写字母表示经过 Tukey-Kramer test 法检验差异显著（$P < 0.05$）；小括号内数字表示存活试虫数；下表同。Data in the table are represented as mean ± *SE*. Means within a row sharing different letters are significantly different at the 5% level by using Tukey-Kramer test. Numberals in brackets indicate the number of survived insects. The same for the following tables.

2.2 不同植物对猫眼尺蠖成虫寿命及繁殖力的影响

从表 2 可以看出，取食不同寄主植物的猫眼尺蠖雄成虫平均寿命差异不显著（$F = 2.092$；$df = 2, 78$；$P = 0.1303 > 0.05$）（表 2）。取食金叶女贞的雌成虫寿命显著长于取食小叶女贞和女贞的雌虫（$F = 7.060$；$df = 2, 80$；$P < 0.01$），但取食小叶女贞和女贞的雌成虫寿命无显著差异。取食这 3 种植物的猫眼尺蠖雌虫的产卵前期无显著差异（$F = 1.504$；$df = 2, 80$；$P = 0.228$）。取食金叶女贞雌虫的产卵期显著长于取食小叶女贞和女贞，但后两者差异不显著。取食金叶女贞、小叶女贞、女贞的雌虫总产卵量差异显著（$F = 18.138$；$df = 2, 80$；$P < 0.01$），它们分别为：529.1，442.5 和 339.7 粒/雌。雌虫年龄-龄期特征繁殖力（f_{x8}）表示雌成虫（第 8 个龄期）在年龄 x 时所产有效卵的平均数（图 1）。如果把年龄为 x 的所有个体都包括在内，就得到种群年龄特征繁殖力（m_x）。曲线 l_x 为忽略龄期的条件下，种群所有个体的年龄特征存活率。曲线 $l_x m_x$ 是 l_x 和 m_x 的乘积，表示种群年龄特征净增殖率，取食 3 种植物的猫眼尺蠖种群年龄特征净增殖率从大到小顺序为：金叶

女贞、小叶女贞、女贞。取食金叶女贞和小叶女贞的猫眼尺蠖雌虫 f_{x8} 和 m_x 峰值比取食女贞的更高。

表 2 在金叶女贞、小叶女贞和女贞上猫眼尺蠖成虫寿命及雌虫生殖力

Table 2 Adult longevity and female fecundity of *Problepsis superans* reared on *Ligustrum* × *vicaryi*, *L. quihoui* and *L. lucidum*

统计参数 Parameters	性别 Gender	金叶女贞 *L.* × *vicaryi*	小叶女贞 *L. quihoui*	女贞 *L. lucidum*
成虫寿命 Adult longevity (d)	雄 Male	10.5 ±0.55 a(29)	9.85 ±0.54 a(27)	9.00 ±0.45 a(25)
	雌 Female	10.5 ±0.38 a(29)	9.25 ±0.33 b(28)	8.73 ±0.29 b(26)
产卵前期 Adult preoviposition period (APOP) (d)	雌 Female	1.62 ±0.09 a(29)	1.82 ±0.09 a(28)	1.81 ±0.10 a(26)
产卵期 Oviposition period (d)	雌 Female	7.52 ±0.29 a(29)	6.25 ±0.23 b(28)	5.42 ±0.24 b(26)
总产卵量 Number of eggs laid per female	雌 Female	529.1 ±23.3 a(29)	442.5 ±18.9 b(28)	339.7 ±25.2 c(26)

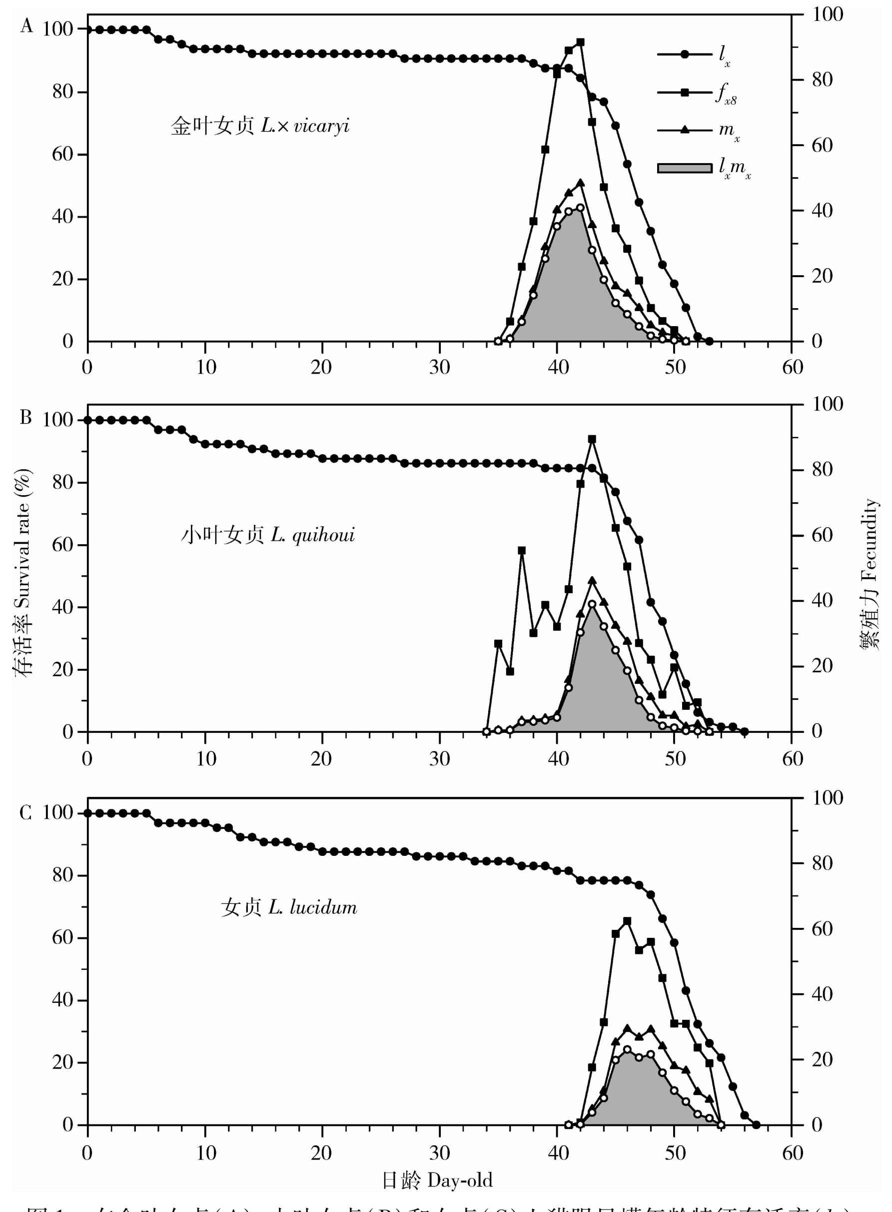


图 1 在金叶女贞(A)、小叶女贞(B)和女贞(C)上猫眼尺蠖年龄特征存活率(l_x)、年龄-龄期特征繁殖力(f_{x8})、种群年龄特征繁殖力(m_x)和种群年龄特征净增殖率(l_xm_x)

Fig. 1 Age-specific survival rate (l_x), female age-stage-specific fecundity (f_{x8}), age-specific fecundity (m_x), and age-specific maternity (l_xm_x) of *Problepsis superans* reared on *Ligustrum* × *vicaryi* (A), *L. quihoui* (B) and *L. lucidum* (C)

种群年龄特征净增殖率用阴影区域面积表示。Age-specific maternity is indicated by hatched area underneath the line with the hollow circle marks.

2.3 不同植物对猫眼尺蠖存活率的影响

在3种植物上猫眼尺蠖不同虫态的年龄-龄期存活率(S_{ij})见图2。它为猫眼尺蠖初产卵能活到年龄 x 和龄期 j 的可能性。该曲线描述出猫眼尺蠖不同虫态(卵、幼虫、蛹、成虫)存活率以及不同龄期(卵、1-5龄幼虫、蛹、雌雄成虫期)间发育速率的差异。曲线(S_{ij})反映出猫眼尺蠖个体间发育速率存在差异，因此可以描述不同龄期的重叠现象。猫眼尺蠖在金叶女贞、小叶女贞、女贞上新产的一粒卵存活到雄成虫的几率分别为0.47，0.42和0.38，成功发育为雌成虫的几率分别为0.47，0.43和0.40。实验结果表明，猫眼尺蠖在金叶女贞上的各龄期存活率高于在小叶女贞、女贞上不同龄期的存活率。在金叶女贞上猫眼尺蠖卵期、幼虫期、蛹期的存活率分别为0.97，0.94和0.98，在小叶女贞上分别为0.97，0.89和0.98，在女贞上分别为0.97，0.86和0.94。

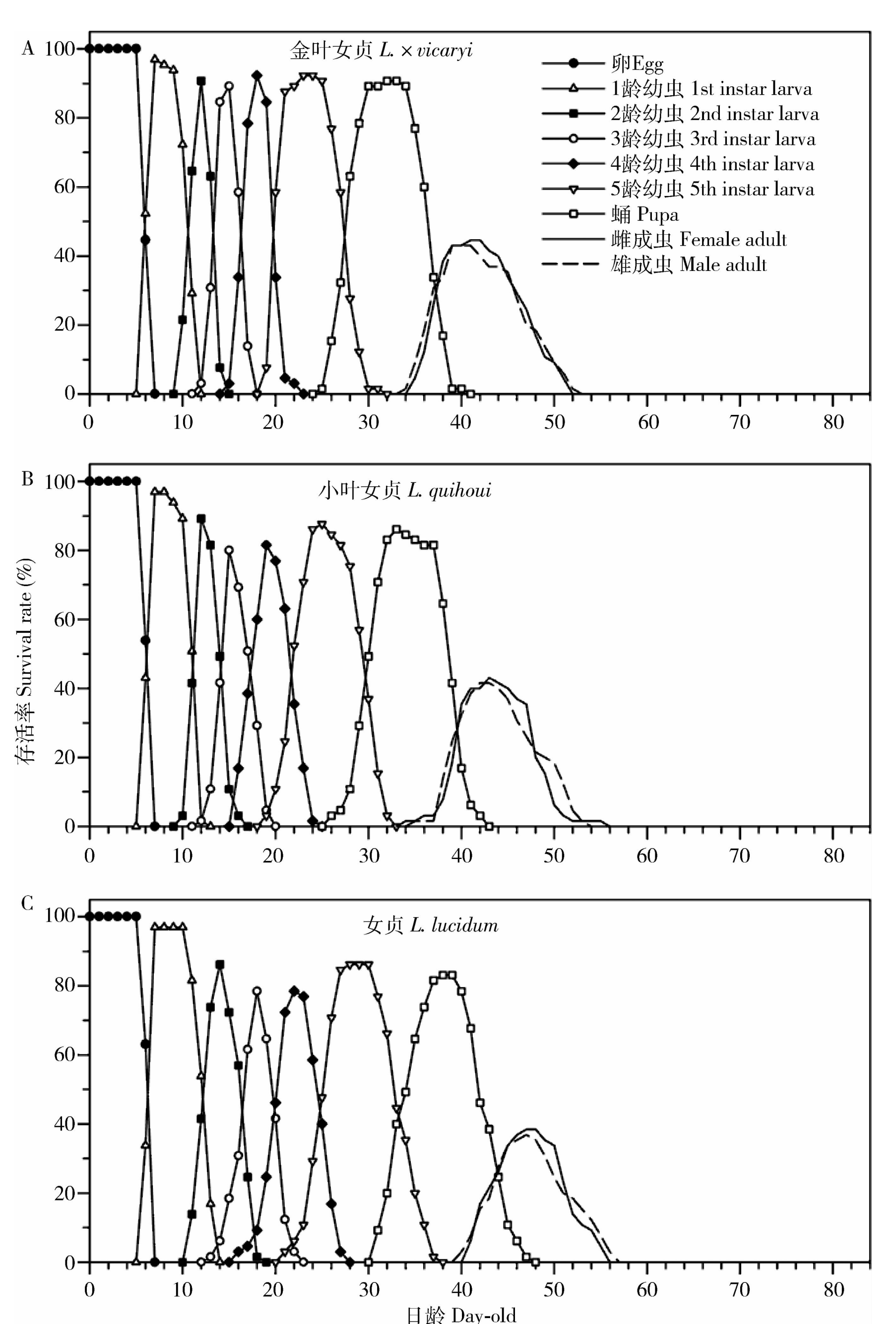


图2 在金叶女贞(A)、小叶女贞(B)和女贞(C)上猫眼尺蠖年龄-龄期存活曲线(S_{xj})

Fig. 2 Age-stage specific survival rate (s_{xj}) of *Problepsis superans* reared on *Ligustrum* × *vicaryi* (A), *L. quihoui* (B) and *L. lucidum* (C)

2.4　不同植物对猫眼尺蠖的生命期望及繁殖率贡献值的影响

年龄-龄期生命期望（e_{xj}）表示处于年龄 x 龄期 j 的个体在未来的期望存活寿命（图 3）。猫眼尺蠖在金叶女贞上的生命期望小于在小叶女贞和女贞上，而在女贞上的生命期望最长，这说明猫眼尺蠖在女贞上生长发育相对缓慢一些。年龄-龄期繁殖率贡献值（v_{xj}）用以描述处于年龄 x 龄期 j 的个体对未来种群增长的贡献（图 4）。在金叶女贞、小叶女贞、女贞上，雌虫最大繁殖率贡献值分别出现在第 39（$V_{39,8}$ = 345.76），38（$V_{38,8}$ = 342.70）和 44 天（$V_{44,8}$ = 260.59）。

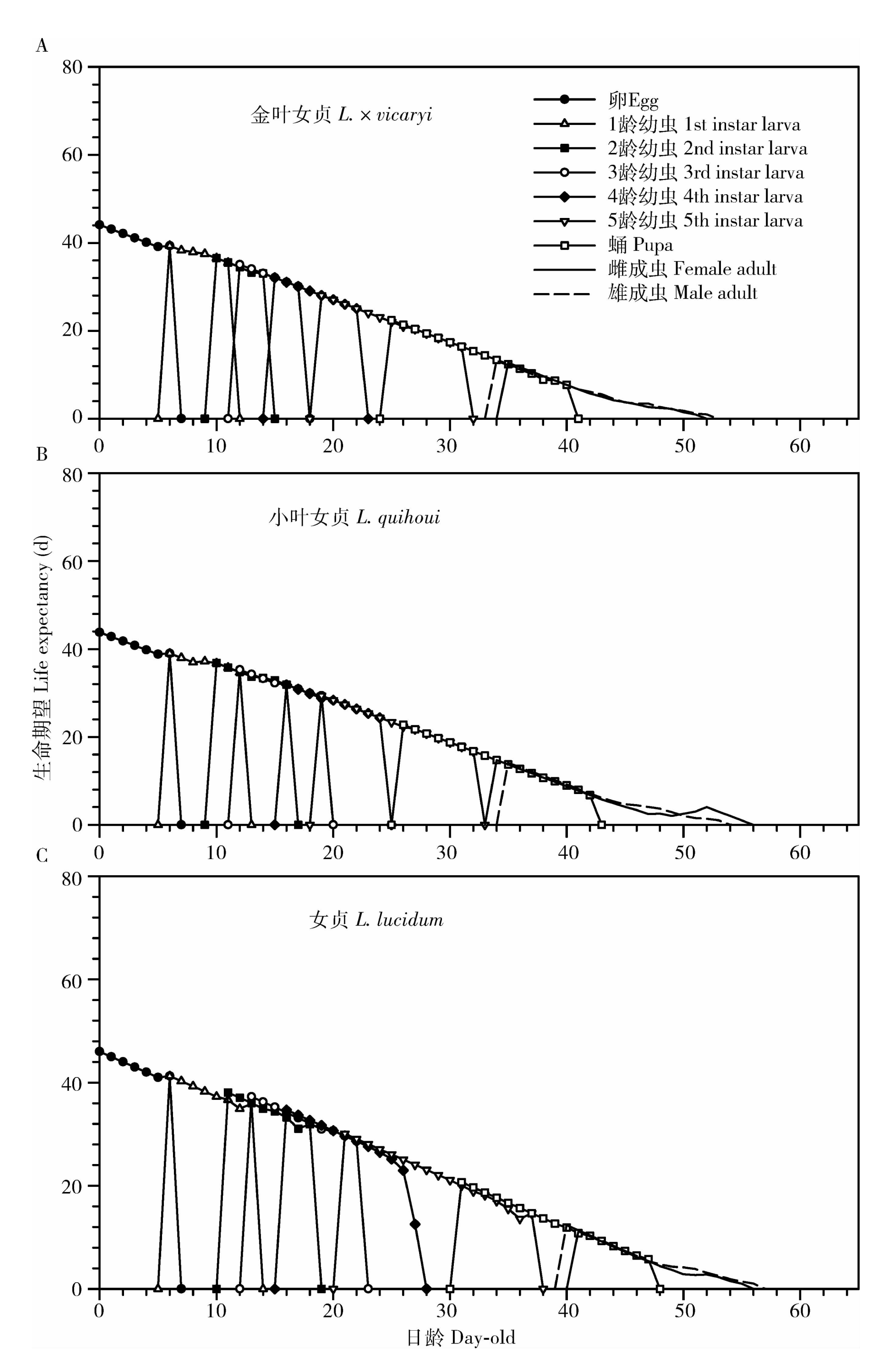


图 3　在金叶女贞（A）、小叶女贞（B）和女贞（C）上的猫眼尺蠖年龄-龄期特征生命期望（e_{xj}）

Fig. 3　Age-stage-specific life expectancy（e_{xj}）of *Problepsis superans* reared on *Ligustrum* × *vicaryi*（A）, *L. quihoui*（B）and *L. lucidum*（C）

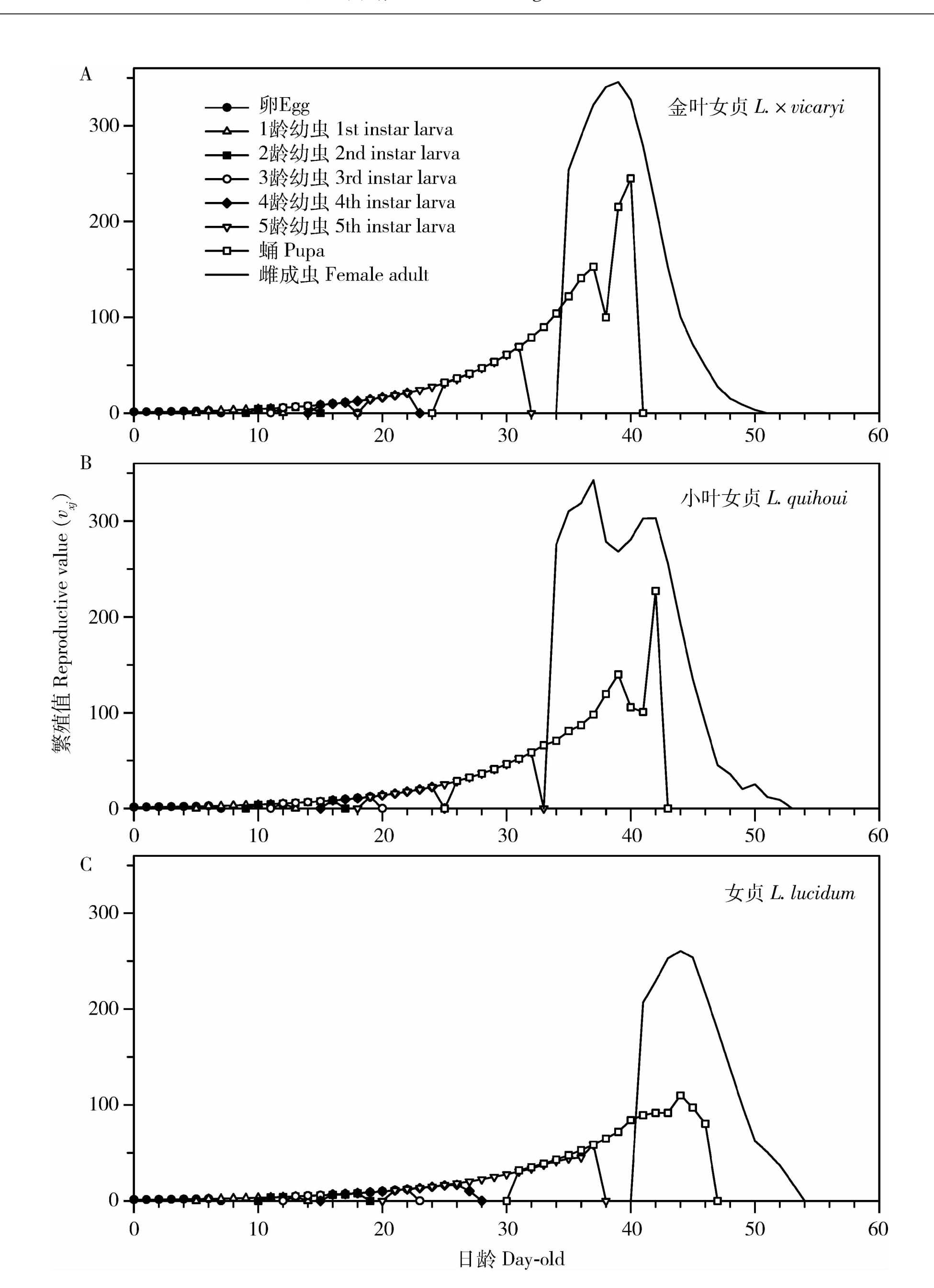


图 4 在金叶女贞(A)、小叶女贞(B)和女贞(C)上猫眼尺蠖年龄-龄期特征繁殖率贡献值(v_{xj})

Fig. 4 Age-stage-specific reproductive value (v_{xj}) of *Problepsis superans* reared on *Ligustrum* × *vicaryi* (A), *L. quihoui* (B) and *L. lucidum* (C)

2.5 取食不同植物的猫眼尺蠖的种群参数

猫眼尺蠖在金叶女贞、小叶女贞、女贞上种群参数:内禀增长率(r)、周限增长率(λ)、净增殖率(R_0)、平均世代周期(T)、总繁殖率(GRR)的平均值和标准误见表 3。在女贞上猫眼尺蠖内禀增长率(r)和周限增长率(λ)显著低于在金叶女贞和小叶女贞上，而在金叶女贞和小叶女贞上，两者参数无显著差异。在金叶女贞、小叶女贞、女贞上猫眼尺蠖平均世代周期(T)差异显著，分别为 42.2，44.2 和 48.0 d。在这 3 种植物上猫眼尺蠖总繁殖率无显著差异。

3 讨论

在昆虫种群生态学中，生命表提供了最完整的有关种群存活、发展、龄期差异、繁殖以及种群生长参数的信息(Gabre *et al*., 2005)。本文首次组建了猫眼尺蠖在金叶女贞、小叶女贞、女贞上的年龄-龄

表 3　在金叶女贞、小叶女贞和女贞上猫眼尺蠖种群参数

Table 3　Population parameters of *Problepsis superans* reared on *Ligustrum* × *vicaryi*, *L. quihoui* and *L. lucidum*

寄主植物种类 Host species	内禀增长率(d^{-1}) Intrinsic rate of increase r	周限增长率(d^{-1}) Finite rate of increase λ	净增殖率 Net reproduction rate R_0	世代平均周期(d) Mean generation time T	总繁殖率 Gross reproduction rate GRR
金叶女贞 *L.* × *vicaryi*	0.129 ± 0.004 a	1.138 ± 0.004 a	235.4 ± 34.5 a	42.2 ± 0.3 c	296.3 ± 41.0 a
小叶女贞 *L. quihoui*	0.119 ± 0.004 a	1.126 ± 0.004 a	190.3 ± 28.1 a	44.2 ± 0.4 b	254.2 ± 37.2 a
女贞 *L. lucidum*	0.102 ± 0.004 b	1.107 ± 0.004 b	135.9 ± 22.7 b	48.0 ± 0.4 a	202.4 ± 32.0 a

表中数据是平均值 ± 标准误，同一列数据后不同小写字母表示经过 Tukey-Kramer test 法检验差异显著($P < 0.05$)。Data in the table are represented as mean ± *SE*. Means within a column sharing different letters are significantly different at the 5% level by using Tukey-Kramer test.

期两性种群生命表，探讨金叶女贞、小叶女贞、女贞对猫眼尺蠖生命参数的影响。猫眼尺蠖在 3 种植物上的年龄-龄期存活率(S_{ij})曲线描述出不同虫态存活率以及不同龄期的重叠现象，较好地反映出猫眼尺蠖在同种植物和不同植物上个体发育速率间存在差异。生活史中发育期重叠现象很明显，甚至在同一天出现几种发育期，分别表现不同的生物特征，例如在猫眼尺蠖在女贞上第 13 天，同时并存 1，2 和 3 龄幼虫虫态，而在金叶女贞或小叶女贞上第 13 天，同时出现 2 龄和 3 龄幼虫。这一方面说明猫眼尺蠖生活史中出现的龄期重叠必须加以考虑，而传统生命表无法体现这种现象，另一方面说明猫眼尺蠖在金叶女贞或小叶女贞上发育整体进程稍快于在女贞上。

宿主植物对昆虫的生物学影响在理解宿主植物对昆虫的适合性方面有着重要作用(Xue *et al.*, 2010)。不同的寄主植物能够通过对害虫生长发育和繁殖的影响进而对其生活史特点造成显著影响(李定旭等，2012)。本文结果显示，3 种不同女贞属植物对猫眼尺蠖的幼虫、蛹、成虫历期及幼虫存活率、雌虫生殖力等方面都有不同程度的影响。猫眼尺蠖在 3 种植物上的卵期无显著差异。幼虫历期差异显著，在金叶女贞上幼虫历期最短，为 21.33 d；在女贞上幼虫历期最长，为 27.28 d，这也在一定程度上表现出金叶女贞对猫眼尺蠖的适合性优于女贞，而小叶女贞位于两者之间。昆虫的适合值大小依赖于寄主植物的营养，而寄主植物营养品质和数量影响昆虫食物消化率和繁殖力(Naseri *et al.*, 2014)。猫眼尺蠖在金叶女贞、小叶女贞、女贞上年龄-龄期特征繁殖力(f_{x8})发生时间范围分别为 36 ~ 50，35 ~ 52 和 42 ~ 53 d，最大日生殖力分别为 91.55，89.53 和 62.33 粒卵/雌，最大种群年龄特征繁殖力(m_x)分别为 48.3，46.1 和 29.3 卵/雌(图 1)。猫眼尺蠖在金叶女贞、小叶女贞、女贞上总产卵前期(卵期经幼虫期、蛹期至成虫产卵前期)分别为38.90，41.30 和 45.03 d。高生殖力和短总产卵前期有助于高内禀增长率，相反，低生殖力和长总产卵前期导致低内禀增长率(Naseri *et al.*, 2014)。van Lenteren 和 Noldus(1990)认为，昆虫在某种寄主植物上发育历期短、繁殖能力强说明该寄主植物对此昆虫具有更好的适宜性。猫眼尺蠖在金叶女贞上的生殖力高于在女贞上，总产卵前期低于在女贞上，内禀增长率显著高于在女贞上(表 3)。吴龙根等(2011)及胡德具和安学君(2012)报道，在平均温度 22.3℃ 和 27.0℃ 下猫眼尺蠖取食小叶女贞幼虫历期分别为 24 ~ 26 和 20 ~ 24 d，本文结果与他们报道的范围相近。但本文中，在 3 种植物上猫眼尺蠖高龄幼虫和蛹的存活率都较高，产卵量都高于他们报道的在相近平均温度下猫眼尺蠖在小叶女贞上的最高卵量，这些差异可能与两者实验条件不同有关。

昆虫生物学特性的评价指标除了比较昆虫在不同植物上的生长发育、寿命、取食和产卵能力等(Brown *et al.*, 2002)，还包括内禀增长率 r 和净增殖率 R_0 等昆虫种群动态参数(Richards, 1961; Varley and Gradwell, 1970; Tsai and Wang, 2001)。净增殖率为种群经过一个平均世代时间后所产的子代数，但不适合用来比较两个或多个平均世代时间不同的种群(Birch, 1948)。内禀增长率是反映特定环境条件下种群增长能力的重要参数(Southwood and Henderson, 2000)，它综合考虑了种群的出生率和死亡率、种群的年龄组配、繁殖力及发育速度等诸多因素，因此能敏感地反映出各种因素对种群的综合影响。较高的生殖力或者较快的发育速度均可

导致种群较高的内禀增长率。昆虫高内禀增长率反映出植物对该昆虫取食敏感性高；反之，低内禀增长率反映出植物对取食昆虫具有抗性。在本实验中，在金叶女贞上猫眼尺蠖幼虫和蛹历期最短，成虫繁殖力最强，内禀增长率最大，取食女贞的猫眼尺蠖幼虫和蛹历期最长，繁殖力最低，内禀增长率最小，说明金叶女贞最适宜猫眼尺蠖的种群增长，小叶女贞次之，女贞最不利于其种群增长，女贞对猫眼尺蠖的取食具有一定的抗性。这些差异的出现可能与金叶女贞、小叶女贞、女贞 3 种植物叶片间形态结构、理化性质等存在一定差异有关，虽然三者植物同属于木犀科女贞属植物。

吴龙根等(2011)及胡德具和安学君(2012)报道，小叶女贞为猫眼尺蠖唯一寄主。本论文的两性生命表研究显示，在 3 种植物上猫眼尺蠖的 r 均大于 0，说明猫眼尺蠖能够维持种群的生存且下一代种群数量均会上升。在园林绿化中，小叶女贞、金叶女贞、女贞常一起与其他灌木作为绿化树种使用，金叶女贞和女贞具备作为猫眼尺蠖寄主或临时寄主的可能。室内生命表的研究为猫眼尺蠖发生发展等生物学研究提供了一定基础，但是，本研究只是室内在离体叶上的结果，与实际情况尚有一定差异，例如，虽然 3 种植物在室内喂食猫眼尺蠖时金叶女贞表现为更好的食物质量，但在野外猫眼尺蠖在小叶女贞上发生量更大，此种情况有待深入研究。有必要进一步展开关于猫眼尺蠖在不同寄主上的野外种群动态以及猫眼尺蠖对不同寄主的选择以及危害等方面研究。

致谢　感谢台北台湾中兴大学齐心(Hsin Chi)教授赠送软件和长期以来给予的宝贵支持；感谢中山大学昆虫学研究所/有害生物控制与资源利用国家重点实验室张润杰教授审阅全文及提出宝贵的修改意见；感谢 3 名匿名审稿人对本文提出宝贵的修改建议。

参考文献 (References)

Birch LC, 1948. The intrinsic rate of natural increase of an insect population. *J. Anim. Ecol.*, 17(1): 15-26.

Brown ASS, Simmonds MSJ, Blaney WM, 2002. Relationship between nutritional composition of plant species and infestation levels of thrips. *J. Chem. Ecol.*, 28(12): 2399-2409.

Chi H, 1988. Life-table analysis incorporating both sexes and variable development rates among individuals. *Environ. Entomol.*, 17(1): 26-34.

Chi H, 2014. TWOSEX-MSChart: a computer program for the age-stage, two-sex life table analysis. National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan. Available at: http://140.120.197.173/Ecology/.

Chi H, Liu H, 1985. Two new methods for the study of insect population ecology. *Bull. Inst. Zool. Acad. Sin.*, 24(2): 225-240.

Chi H, Su HY, 2006. Age-stage, two-sex life tables of *Aphidius gifuensis* (Ashmead) (Hymenoptera: Braconidae) and its host *Myzus persicae* (Sulzer) (Homoptera: Aphididae) with mathematical proof of the relationship between female fecundity and the net reproductive rate. *Environ. Entomol.*, 35(1): 10-21.

Dunnett CW, 1980. Pairwise multiple comparisons in the homogeneous variance, unequal sample size case. *J. Am. Stat. Assoc.*, 75 (372): 789-795.

Efron B, Tibshirani RJ, 1993. An Introduction to The Bootstrap. Chapman & Hall, New York, USA.

Fang YQ, 2003. Butterflies and Moths of Mount Lushan. Jiangxi University Press, Nanchang. 235-236. [方育卿, 2003. 庐山蝶蛾志. 南昌: 江西高校出版社. 235-236]

Gabre RM, Adham FK, Chi H, 2005. Life table of *Chrysomya megacephala* (Fabricius) (Diptera: Calliphoridae). *Acta Oecol.*, 27(3): 179-183.

Goodman D, 1982. Optimal life histories, optimal notation, and the value of reproductive value. *Am. Nat.*, 119: 803-823.

Hu DJ, An XJ, 2012. The morphological and biological characteristics of *Problepsis superans* (Butler, 1885). *Ningbo Agricultural Science and Technology*, (1): 6-9. [胡德具, 安学君, 2012. 猫眼尺蠖的形态特征与生物学特性. 宁波农业科技, (1): 6-9]

Hu LX, Chi H, Zhang J, Zhou Q, Zhang RJ, 2010. Life-table analysis of the performance of *Nilaparvata lugens* (Hemiptera: Delphacidae) on two wild rice species. *J. Econ. Entomol.*, 103 (5): 1628-1635.

Huang YB, Chi H, 2013. Life tables of *Bactrocera cucurbitae* (Diptera: Tephritidae): with an invalidation of the jackknife technique. *J. Appl. Entomol.*, 137(5): 327-339.

Jha RK, Chi H, Tang LC, 2012. Life table of *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) with a discussion on jackknife vs. bootstrap techniques and variations on the Euler-Lotka equation. *Formosan Entomol.*, 32: 355-375.

Leslie PH, 1945. On the use of matrices in certain population mathematics. *Biometrika*, 33(3): 183-212.

Lewis EG, 1942. On the generation and growth of a population. *Sankhya*, 6: 93-96.

Li DX, Lei XH, Li Z, Gao LW, Shen ZR, 2012. Effects of different host plants on the development and reproduction of the peach fruit borer, *Carposina sasakii* Matsumura (Lepidoptera: Carposinidae). *Acta Entomologica Sinica*, 55(5): 554-560. [李定旭, 雷喜红, 李政, 高灵旺, 沈佐锐, 2012. 不同寄主植物对桃小食心虫生长发育和繁殖的影响. 昆虫学报, 55(5): 554-560]

Naseri B, Golparvar Z, Razmjou J, Golizadeh A, 2014. Age-stage, two-sex life table of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) on different bean cultivars. *J. Agr. Sci. Tech.*, 16(1): 19-32.

Pang XF, Hou RH, Bao HL, 1992. Method to construct the natural life

table of *Nilaparvata lugens* Stål. *Journal of South China Agricultural University*, 13(1): 1-5. [庞雄飞, 侯任环, 包华理, 1992. 褐稻虱自然种群生命表的组建方法. 华南农业大学学报, 13(1): 1-5]

Richards OW, 1961. The theoretical and practical study of natural insect populations. *Annu. Rev. Entomol.*, 6(1): 147-162.

Southwood TRE, Henderson PA, 2000. Ecological Methods. 3rd ed. Blackwell Science, Oxford.

Tsai JH, Wang JJ, 2001. Effects of host plants on biology and life table parameters of *Aphis spiraecola* (Homoptera: Aphididae). *Environ. Entomol.*, 30(1): 45-50.

Van Lenteren JC, Noldus LPJJ, 1990. Whitefly-plant relationships: behavioural and ecological spects. In: Gerling D ed. Whiteflies: Their Bionomics, Pest Status and Management. Intercept Ltd, Andover, UK. 47-89.

Varley GC, Gradwell GR, 1970. Recent advances in insect population dynamics. *Annu. Rev. Entomol.*, 15(1): 1-24.

Wang HH, Reitz SR, Xiang JC, Smagghe G, Lei ZR, 2014. Does temperature-mediated reproductive success drive the direction of species displacement in two invasive species of leafminer fly? *PLoS ONE*, 9(6): e98761.

Wang HH, Xue Y, Lei ZR, 2014. Life tables for experimental populations of *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) under constant and fluctuating temperature. *Scientia Agricultura Sinica*, 47(1): 61-68. [王海鸿, 薛瑶, 雷仲仁, 2014. 恒温和波动温度下西花蓟马的实验种群生命表. 中国农业科学, 47(1): 61-68]

Wu KJ, Gong PY, Li XZ, He J, 1994. The age-stage-specific life table of the armyworm, *Mythimna separata* (Walker). *Acta Entomologica Sinica*, 37(4): 426-434. [吴坤君, 龚佩瑜, 李秀珍, 何剑, 1994. 粘虫的年龄-发育期结构生命表. 昆虫学报, 37(4): 426-434]

Wu LG, Li JJ, Sun J, Hu DJ, An XJ, 2011. The morphological and biological characteristics of *Problepsis superans* (Butler, 1885). *Journal of Zhejiang Agricultural Science*, (4): 894-897. [吴龙根, 李军进, 孙健, 胡德具, 安学君, 2011. 猫眼尺蛾的形态特征及生物学特性. 浙江农业科学, (4): 894-897]

Xue M, Pang YH, Wang HT, Li QL, Liu TX, 2010. Effects of four host plants on biology and food utilization of the cutworm, *Spodoptera litura*. *J. Insect Sci.*, 10(22): 1-14.

Yin WD, Qiu GS, Yan WT, Sun LN, Zhang HJ, 2013. Host preference and fitness of *Aphis citricola* (Hemiptera: Aphididae) to mature and young apple leaves. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 24(7): 2000-2006. [殷万东, 仇贵生, 闫文涛, 孙丽娜, 张怀江, 2013. 绣线菊蚜对苹果成熟/幼嫩叶片的选择性与适生性. 应用生态学报, 24(7): 2000-2006]

Yin WD, Yan WT, Qiu GS, Zhang HJ, Ma CS, 2012. Age-stage two-sex life tables of the experimental population of *Panonychus ulmi* (Acari: Tetranychidae) on apples *Malus sieversii* subsp. *kirghisorum* and *M. domestica* Golden Delicious. *Acta Entomologica Sinica*, 55(10): 1230-1238. [殷万东, 闫文涛, 仇贵生, 张怀江, 马春森, 2012. 苹果全爪螨在吉尔吉斯与金冠苹果上的实验种群两性生命表. 昆虫学报, 55(10): 1230-1238]

Zhang L, Zhou D, Yang J, Zhu GP, Zhao HY, Hu ZQ, Hu XS, 2013. Life table parameters and feeding behavior of *Sitobion avenae* (Hemiptera: Aphididae) on wheat under UV-B stress. *Acta Entomologica Sinica*, 56(6): 665-670. [张丽, 周冬, 杨杰, 朱国平, 赵惠燕, 胡祖庆, 胡想顺, 2013. UV-B 胁迫小麦上麦长管蚜的生命表参数和取食行为. 昆虫学报, 56(6): 665-670]

Zhao J, Chen ZZ, Zheng FQ, Zhang F, Yin XC, Xu YY, 2012. Effects of cold acclimation on developmental characteristics and fitness of *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Cocinellidae) offsprings. *Acta Entomologica Sinica*, 55(7): 810-815. [赵静, 陈珍珍, 郑方强, 张帆, 印象初, 许永玉, 2012. 冷驯化对异色瓢虫后代生长发育及适合度的影响. 昆虫学报, 55(7): 810-815]

Zhou ZS, Rasmann S, Li M, Guo JY, Chen HS, Wan FH, 2013. Cold temperatures increase cold hardiness in the next generation *Ophraella communa* beetles. *PLoS ONE*, 8(9): e74760.

Zhu XJ, Zhang ZJ, Lu YB, 2011. Effects of inoculation of host plants with tomato spotted wilt virus on populations of the western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae). *Acta Entomologica Sinica*, 54(4): 425-431. [朱秀娟, 张治军, 吕要斌, 2011. 寄主植物接种番茄斑萎病毒对西花蓟马种群的影响. 昆虫学报, 54(4): 425-431]

（责任编辑：袁德成）